

蛋鸡对饲料中蛋氨酸锌的耐受性研究

陈娜娜 何俊娜 郭 阳 刘 兵 熊平文 余东游*

(浙江大学动物科学学院, 农业部华东动物营养与饲料重点实验室, 杭州 310058)

摘 要: 本试验旨在研究饲料中添加高剂量蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能、血液学指标和组织病理学的影响, 以确定蛋鸡对饲用蛋氨酸锌的耐受剂量。试验采用单因子完全随机设计, 选择健康且体重和产蛋率相近的 20 周龄海兰白蛋鸡 540 只, 随机分成 6 个组, 每个组 6 个重复, 每个重复 15 只鸡。各组分别饲喂蛋氨酸锌添加水平为 0 (对照)、70 (有效剂量)、140 (2 倍)、350 (5 倍)、700 (10 倍) 和 1 400 mg/kg (20 倍) 的试验饲料。试验为期 8 周。结果显示: 1) 与对照组相比, 70 mg/kg 组、140 mg/kg 组显著提高了日产蛋重和产蛋率 ($P<0.05$), 显著降低了料蛋比 ($P<0.05$); 350 mg/kg 组、700 mg/kg 组上述指标与对照组差异不显著 ($P>0.05$); 与 0~700 mg/kg 组相比, 1 400 mg/kg 组极显著降低了日产蛋重和产蛋率 ($P<0.01$), 极显著提高了料蛋比 ($P<0.01$)。2) 饲料中添加蛋氨酸锌对蛋鸡血液常规指标无显著影响 ($P>0.05$)。3) 与对照组相比, 饲料中添加 70~700 mg/kg 蛋氨酸锌对蛋鸡血清生化指标无显著影响 ($P>0.05$), 但 1 400 mg/kg 组极显著提高了血清葡萄糖、尿酸、肌酐、总胆红素含量以及谷草转氨酶、碱性磷酸酶活性 ($P<0.01$)。4) 添加 20 倍推荐有效剂量 (1 400 mg/kg) 的蛋氨酸锌会引起主要器官组织的损伤和病变。结果提示, 蛋鸡饲料中蛋氨酸锌的耐受剂量为 700 mg/kg。

关键词: 蛋鸡; 蛋氨酸锌; 耐受性

中图分类号: S816.7 **文献标识码:** A **文章编号:**

锌是动物体内必需的微量元素之一。作为动物体内 300 多种酶和蛋白质的必需组分, 锌可通过酶催化机制, 实现对动物的物质代谢、生长发育、免疫功能以及繁殖性能的调节, 在动物体内发挥广泛的生物学功能, 被称为机体的“生命元素”^[1]。蛋氨酸锌是由蛋氨酸与无机锌在特定条件下形成的具有独特环状结构的金属螯合物^[2]。研究表明, 在蛋鸡饲料中添加

收稿日期: 2016-08-02

基金项目: 农业部饲料质量安全监管专项 (2014); 东南沿海地区大学农业科技服务技术集成与示范 (2013BAD20B02)

作者简介: 陈娜娜 (1990-), 女, 山东日照人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料添加剂。E-mail: nanachen1207@163.com

***通信作者:** 余东游, 研究员, 博士生导师, E-mail: dyu@zju.edu.cn

适量的蛋氨酸锌，不仅可以提高蛋鸡产蛋率、改善蛋品质、提高蛋种鸡受精率和孵化率，同时有利于增强机体抗氧化能力、免疫力及抗应激能力^[3-6]。蛋氨酸锌作为一种高效的新型有机微量元素添加剂，是农业部“1224 号公告”中允许使用的饲料添加剂^[7]，但其在蛋鸡饲料中的安全限量值并未给出。因此，本试验旨在通过研究饲料中添加高剂量蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能、血液学指标和脏器组织病理学的影响，以确定蛋鸡对饲料中蛋氨酸锌的耐受剂量，为科学指导蛋氨酸锌在生产实践中的应用提供参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

蛋氨酸锌：由山东济宁和实生物科技有限公司提供，产品批号 2014080701，锌含量 $\geq 17.72\%$ ，蛋氨酸含量 $\geq 79.34\%$ 。

1.2 饲养管理

选取采食正常[(89.17 ± 1.27) g/d]、体重相近[(1.36 ± 0.03) kg]、产蛋率一致[$(80.23 \pm 0.98)\%$]的健康海兰白蛋鸡 540 只（20 周龄），采用封闭式鸡舍 3 层阶梯式笼养，每层 5 个鸡笼（45 cm×30 cm×30 cm），每笼养 3 只鸡，各组的试验鸡保证分布在上、中、下层的数量相等。按照鸡场常规方法进行饲养管理。自由采食，每天 08:00 和 14:30 各喂料 1 次，匀料 4 次；乳头式饮水器，自由饮水；每周带鸡消毒和清理鸡粪 1 次。

1.3 试验设计

试验采用单因子试验设计，随机分成 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。在不考虑其他营养素缺乏的情况下，先前大多研究认为 40~70 mg/kg 的蛋氨酸锌添加量有利于蛋鸡生产性能的提高和蛋品质的改善^[8-11]。根据农业部颁布的《饲料和饲料添加剂畜禽靶动物耐受性评价试验指南(试行)》中的有关规定，本试验以蛋氨酸锌的最高有效添加量(70 mg/kg)作为其在蛋鸡饲料中耐受剂量评定的推荐有效剂量，设置 6 个试验饲料组，即不添加蛋氨酸锌组（对照组）、推荐有效剂量组、2 倍推荐有效剂量组、5 倍推荐有效剂量组、10 倍推荐有效剂量组和 20 倍推荐有效剂量组，饲料中蛋氨酸锌添加水平分别为 0、70、140、350、700 和 1 400 mg/kg（以锌计）。试验期为 8 周。

基础饲料参照 NRC（1994）和《鸡的饲养标准》（NY/T 33—2004），并结合海兰白蛋鸡饲养手册配制，基础饲料组成及营养水平见表 1。

1.4 样品采集与制备

在试验第 2、4、6 和 8 周末，以重复为单位，随机选取 1 只蛋鸡，用 1 支抗凝管和 1 支促凝管翅静脉分别采血 2 和 5 mL。2 mL 全血立即送检，测定血液常规指标；5 mL 促凝

血于 3 000 r/min 离心 10 min 制备血清，上清液分装于 1.5 mL Eppendorf 管中，-80 °C 保存待用。

试验第 8 周（27 周龄）末，每重复随机选取 1 只健康、体重相近的蛋鸡，屠宰，剖取心脏、肝脏、脾脏、肺脏和肾脏的同一部位，放入装有 4% 中性甲醛中固定。

表 1 基础饲料组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)			%
原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	59.20	代谢能 ME/(MJ/kg)	11.40
豆粕 Soybean meal	26.50	粗蛋白质 CP	16.27
豆油 Soybean oil	2.00	钙 Ca	3.48
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.20	总磷 TP	0.56
石粉 Limestone	8.60	有效磷 AP	0.38
食盐 NaCl	0.30	赖氨酸 Lys	0.82
蛋氨酸 Met	0.20	蛋氨酸 Met	0.39
无锌预混料 Zinc-free premix ¹⁾	2.00	锌 Zinc/(mg/kg)	34.21
合计 Total	100.00		

¹⁾无锌预混料为每千克饲料提供 The zinc-free premix provided the following per kg of the diet:VA 12 500 IU,VD₃ 4 125 IU,VE 15 IU,VK 2 mg,硫胺素 thiamine 1 mg,核黄素 riboflavin 8.5 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg,烟酸 niacin 32.5 mg,吡啶醇 pyridoxine 8 mg,叶酸 folic acid 5 mg,VB₁₂ 5 mg,氯化胆碱 choline chloride 500 mg,Mn 65 mg, I 1 mg,Fe 60 mg,Cu 8 mg,Se 0.3 mg。

²⁾营养水平中除锌为实测值外，其余均为计算值。Nutrient levels were calculated values except zinc.

1.5 指标测定与方法

1.5.1 生产性能

以重复为单位，每天记录产蛋数（包括软壳蛋、破壳蛋）、蛋重，每周通过减量法计算耗料量，统计日产蛋重、平均蛋重、平均日采食量、产蛋率和料蛋比等生产性能指标。

1.5.2 血液常规指标

chinaXiv:201711.01548v1

采用血细胞计数板法测定全血的白细胞计数、红细胞计数及血小板计数，用高速离心法测定红细压积，用紫外分光光度计测定血红蛋白含量。

1.5.3 血清生化指标

采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒，利用 SpectraMax M5 多功能酶标仪测定碱性磷酸酶、谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性及总蛋白、白蛋白、尿酸、尿素氮、肌酐、葡萄糖和总胆红素含量。

1.5.4 组织病理学检测

将固定的标本经水洗、梯度乙醇脱水、二甲苯透明、浸蜡、包埋等处理后，用德国 Leica RM2255 石蜡切片机制成 6 μm 的切片，经苏木精 - 伊红染色后，在 Eclipse 80i 显微镜下观察组织病理学形态变化，并用 DigiLab II-C 图像采集系统采集相应的组织切片图像。

1.5.5 基础饲料中锌含量测定

称取基础饲料 0.5 g 置于消化管中，加入 6 mL 浓硝酸，置于 CEM - MARS5 微波消解仪中消解，消解完成后于 DV4 000 型精确控温电热消解器中赶酸，冷却后用去离子水定容至 100 mL。利用 ICE 3 000 原子吸收光谱仪测定试样中锌含量。

1.6 数据分析

数据经 Excel 2007 整理后，采用 SPSS 18.0 软件的单因素方法分析（one-way ANOVA）程序进行统计分析。用 Bonferroni 法进行差异显著性检验。试验结果均以平均值表示， $P<0.05$ 为差异显著， $P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果及分析

2.1 蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，饲料中添加蛋氨酸锌对平均日采食量、平均蛋重均无显著影响（ $P>0.05$ ）。与对照组相比，70 mg/kg 组、140 mg/kg 组显著提高了日产蛋重和产蛋率（ $P<0.05$ ），显著降低了料蛋比（ $P<0.05$ ），350 mg/kg 组、700 mg/kg 组与对照组之间无显著差异（ $P>0.05$ ）。与 0~700 mg/kg 组相比，饲料中添加 1 400 mg/kg 蛋氨酸锌极显著降低了日产蛋重和产蛋率（ $P<0.01$ ），极显著提高了料蛋比（ $P<0.01$ ）。

表 2 蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of zinc-methionine on performance of laying hens

项目 Items	蛋氨酸锌添加水平 Zinc-methionine supplemental levels/(mg/kg)						P 值
	0	70	140	350	700	1 400	SEM P-value

chinaXiv:201711.01548v1

日产蛋重 Daily egg weight/(g/d)	713.68 ^{Ab}	733.04 ^{Aa}	726.81 ^{Aa}	712.62 ^{Ab}	708.72 ^{Ab}	637.85 ^{Bc}	10.645	<0.001
平均蛋重 Average egg weight/g	53.62	53.90	53.56	53.34	53.61	53.11	0.615	0.489
平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	97.88	97.69	98.03	97.80	98.59	94.97	0.881	0.067
产蛋率 Laying rate/%	88.73 ^{Ab}	90.68 ^{Aa}	90.47 ^{Aa}	89.07 ^{Aab}	88.13 ^{Ab}	80.07 ^{Bc}	0.919	<0.001
料蛋比 The ratio of feed to egg	2.06 ^{Bb}	1.99 ^{Bc}	2.02 ^{Bc}	2.05 ^{Bb}	2.07 ^{Bb}	2.23 ^{Aa}	0.023	<0.001

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），不同大写字母表示差异极显著（ $P<0.01$ ），相同小写字母或无字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 蛋氨酸锌对蛋鸡血液常规指标的影响

由表 3 可知，饲料中添加蛋氨酸锌对血液中的白细胞计数、红细胞计数、血小板计数、血红蛋白及红细胞压积各项血液指标均无显著影响（ $P>0.05$ ）。

表 3 蛋氨酸锌对蛋鸡血液常规指标的影响

Table 3 Effects of zinc-methionine on blood routine parameters of laying hens

项目 Items	蛋氨酸锌添加水平 Zinc-methionine supplemental levels/(mg/kg)						SEM	P 值 P-value
	0	70	140	350	700	1 400		
白细胞计数 WBC/(10 ⁹ /L)	266.29	272.23	266.84	268.57	268.97	288.13	4.456	0.205
红细胞计数 RBC/(10 ¹² /L)	2.86	2.90	2.89	2.88	2.87	2.89	0.029	0.199

血小板计数								
PLT/(10 ⁹ /L)	1.04	1.25	1.63	1.29	1.17	1.17	0.087	0.541
血红蛋白								
HGB/(g/L)	86.42	85.8	84.67	85.33	83.42	84.75	0.722	0.093
红细胞压积								
HCT/%	32.61	32.82	32.56	32.66	31.63	33.28	0.298	0.083

2.3 蛋氨酸锌对蛋鸡血清生化指标的影响

由表 4 可知，与对照组相比，饲粮中添加 70~700 mg/kg 蛋氨酸锌对蛋鸡血清各项指标无显著影响（ $P<0.05$ ），1 400 mg/kg 组极显著提高了蛋鸡血清葡萄糖、尿酸、肌酐、总胆红素含量及谷草转氨酶、碱性磷酸酶活性（ $P<0.01$ ）。

表 4 蛋氨酸锌对蛋鸡血清生化指标的影响

Table 4 Effects of zinc-methionine on serum biochemical parameters of laying hens

项目	蛋氨酸锌添加水平 Zinc-methionine supplemental levels/(mg/kg)						SEM	<i>P</i> 值
Items	0	70	140	350	700	1 400		<i>P</i> -value
葡萄糖								
GLU/(mmol/L)	10.31 ^{Bb}	10.11 ^{Bb}	10.15 ^{Bb}	10.19 ^{Bb}	10.23 ^{Bb}	14.35 ^{Aa}	0.192	<0.001
尿酸								
UA/(mg/L)	149.23 ^{Bb}	144.26 ^{Bb}	143.97 ^{Bb}	145.40 ^{Bb}	146.18 ^{Bb}	172.59 ^{Aa}	1.554	<0.001
肌酐								
CRE/(μmol/L)	41.66 ^{Bb}	39.28 ^{Bb}	40.42 ^{Bb}	40.77 ^{Bb}	41.28 ^{Bb}	51.84 ^{Aa}	0.739	<0.001
谷丙转氨酶								
ALT/(U/L)	3.17	3.07	3.22	3.35	3.36	3.51	0.021	0.079
谷草转氨酶								
AST/(U/L)	11.83 ^{Bb}	10.89 ^{Bb}	11.03 ^{Bb}	11.19 ^{Bb}	11.61 ^{Bb}	16.38 ^{Aa}	0.149	<0.001
总胆红素								
TBILI/(μmol/L)	4.38 ^{Bb}	4.30 ^{Bb}	4.67 ^{Bb}	4.73 ^{Bb}	4.80 ^{Bb}	7.54 ^{Aa}	0.041	<0.001

碱性磷酸酶	212.57 ^{Bb}	202.41 ^{Bb}	205.91 ^{Bb}	208.84 ^{Bb}	210.42 ^{Bb}	247.71 ^{Aa}	2.491	<0.001
ALP/(U/L)								
总蛋白	78.39	79.76	80.38	80.35	79.49	78.28	0.987	0.097
TP/(g/L)								
白蛋白	35.54	36.64	36.29	35.73	35.57	35.01	0.573	0.095
ALB/(g/L)								
尿素氮	4.51	4.43	4.53	4.56	4.62	4.69	0.026	0.071
UN/(mmol/L)								

2.4 蛋氨酸锌对主要脏器组织病理变化的影响

组织病理切片图 1 观察结果如下：

心脏：A、B、C、D 和 E 组心脏组织结构正常，心肌排列整齐，心肌细胞为短圆柱状，细胞核位于细胞中央、椭圆形或似长方形。但 F 组有 2 例出现心肌排列杂乱、断裂，肌细胞坏死、细胞核消失，局部有明显的炎性细胞浸润。

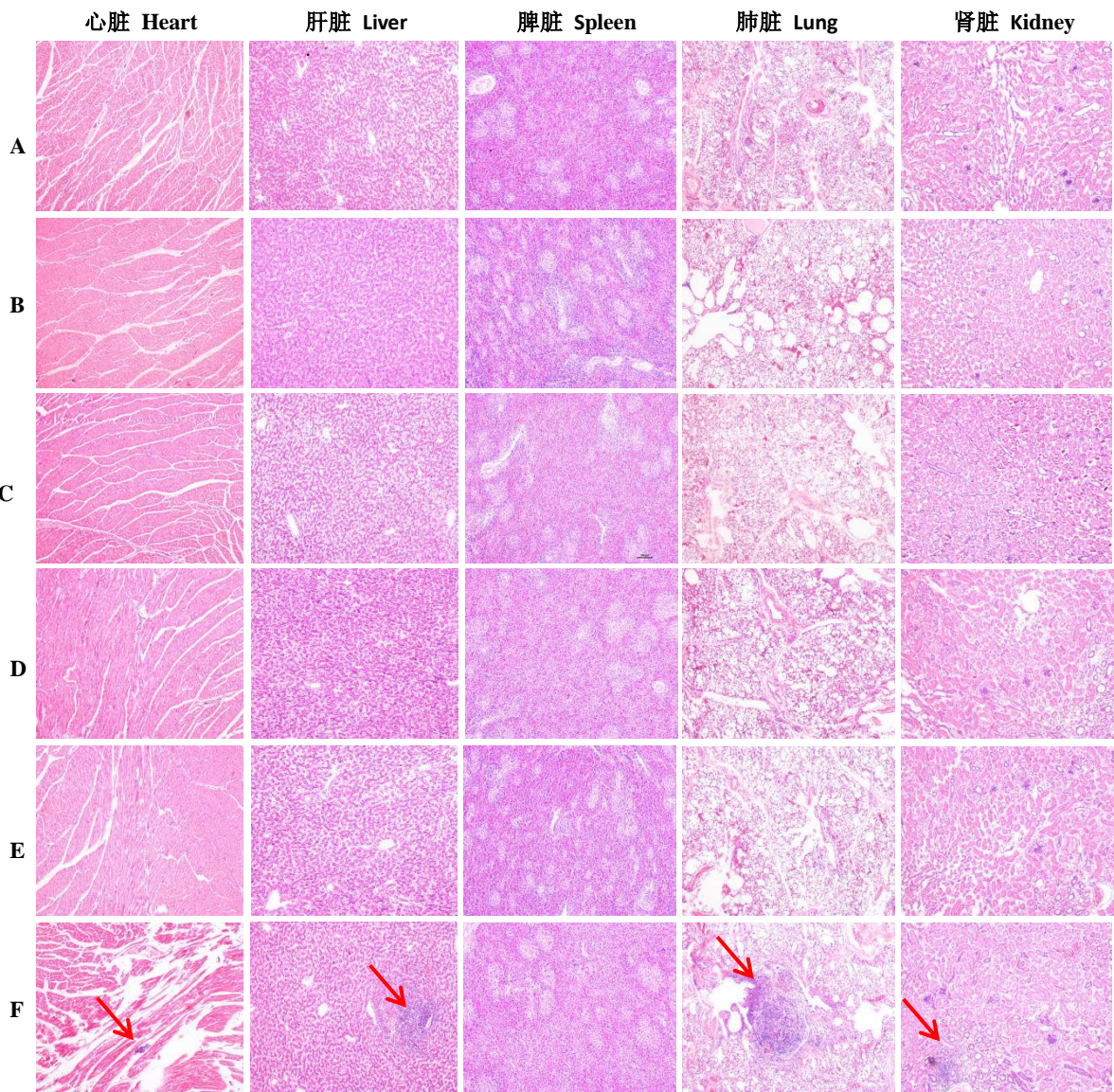
肝脏：A、B、C、D 和 E 组肝脏组织结构正常，以中央静脉为中心，肝细胞作辐射状排列形成肝小管，肝小管中央有胆小管，肝小管之间的间隙可见肝血窦；肝细胞呈锥体形，细胞核大而圆。但 F 组有 3 例出现肝细胞轻度肿胀，偶见肝细胞发生脂肪变性，可见汇管区附近有大量肝细胞坏死，且有团块状炎性细胞浸润。

脾脏：各组脾脏组织结构清晰正常，脾脏实质由白髓和红髓组成，小动脉有动脉周围淋巴鞘围绕，可见脾小结、条索状的脾索和通连成网的脾血窦。

肺脏：A 组肺脏组织结构正常，肺脏实质由初级支气管、次级支气管、三级支气管、肺房和肺毛细血管组成，可见三级支气管与其周围的肺房组成肺小叶。B、C、D、E 组与 A 组结果基本一致。但 F 组有 2 例出现肺间质增生、肺房内有浆液性渗出物，且有大量炎性细胞浸润。

肾脏：A、B、C、D 和 E 组肾脏组织结构正常，肾脏实质由皮质小叶和髓质小叶构成，肾小囊包饶肾小球构成肾小体，肾小管、集合管结构正常。但 F 组有 3 例出现肾小球肿胀，局部有明显的炎性细胞浸润。

以上结果表明，饲料中添加 20 倍推荐剂量（1 400 mg/kg）的蛋氨酸锌会引起主要脏器组织发生不同程度的损伤和病变。



A~E 分别为饲料中添加 0、70、140、350、700 和 1 400 mg/kg 蛋氨酸锌。

A to E mean dietary zinc-methionine supplemented by 0, 70, 140, 350, 700 and 1 400 mg/kg, respectively.

图 1 蛋氨酸对蛋鸡脏器组织病理变化的影响

Fig.1 Effects of zinc-methionine on viscera histopathological changes of laying hens (100×)

3 讨 论

3.1 蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能的影响

研究表明，蛋鸡饲料中添加适量锌可避免锌缺乏症，提高蛋鸡生产性能^[12]，但添加过量会引起蛋鸡中毒效应，对产蛋性能造成负面影响^[13-15]。本试验结果显示，饲料中添加 70、140 mg/kg 蛋氨酸锌显著提高了蛋鸡日产蛋重和产蛋率，显著降低了料蛋比，添加 350、700

mg/kg 蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能无显著影响，但当饲料中添加蛋氨酸锌达 1 400 mg/kg 时，极显著降低了蛋鸡日产蛋重和产蛋率，极显著提高了料蛋比。杨自军等^[13]研究表明，蛋鸡饲料中添加 4 000 mg/kg 硫酸锌显著降低了蛋鸡产蛋率，提高了料蛋比。王安等^[14]研究发现，蛋鸡饲料中添加 3 000 mg/kg 硫酸锌显著降低了蛋鸡产蛋率，降低了饲料转化率。本试验中对蛋鸡生产性能造成负面影响的锌剂量远低于上述报道的锌剂量，原因是与无机锌相比，蛋氨酸锌生物学利用率高，因而较低的锌水平即可引起毒性效应。此外，过量锌的添加不仅会对饲料中其他养分的吸收利用起到拮抗效应^[16-17]，而且会使参与体内养分代谢的锌依赖酶构象发生异常，导致酶活性降低或丧失，从而降低碳水化合物、蛋白质、脂质等养分利用率，最终导致生产性能的下降^[18-19]。另外，Schutte 等^[20]、姜元海^[21]研究报道，饲料中添加过量蛋氨酸会导致蛋鸡饲料转化率、产蛋量降低。本研究中最高剂量（1 400 mg/kg）组饲料中蛋氨酸水平为 1.02%，高剂量的蛋氨酸可能会引起饲料中氨基酸的不平衡，导致氨基酸之间的拮抗作用^[22]，从而降低饲料养分利用率，最终造成生产性能下降。因而，蛋鸡生产性能的下降可能是高剂量锌和高剂量蛋氨酸共同作用的结果。

3.2 蛋氨酸锌对蛋鸡血液学指标的影响

研究表明，锌在动物血液循环及物质代谢中发挥着重要作用，尽管动物对锌的耐受性很高，但是超过一定限度，仍会引起机体锌中毒，打破机体内稳态，对血液循环、物质代谢产生负面影响^[23-24]。本试验表明，饲料中添加蛋氨酸锌对蛋鸡血液常规指标无显著影响，说明在本试验条件下，饲料中添加不高于 1 400 mg/kg 的蛋氨酸锌不会对蛋鸡血液常规指标造成负面影响。

血清生化指标是评价动物机体代谢情况及健康状况的重要指标。崔恒敏等^[25]研究报道，1 400 mg/kg 硫酸锌可引起肉鸡血清谷丙转氨酶活性显著提高。Wang 等^[26]研究发现，5 000 mg/kg 纳米锌会引起小鼠血清碱性磷酸酶、谷丙转氨酶活性显著升高。本试验结果显示，饲料中添加 70~700 mg/kg 蛋氨酸锌对蛋鸡血清生化指标无显著影响，但添加 1 400 mg/kg 蛋氨酸锌极显著提高了血清葡萄糖、尿酸、肌酐、总胆红素含量及碱性磷酸酶、谷丙转氨酶活性。此结果说明，饲料中添加 1 400 mg/kg 蛋氨酸锌会对蛋鸡肝、肾等脏器功能及血糖等代谢产生负面影响。究其原因，可能是：1）过量的锌在肝脏沉积，造成肝细胞坏死，致使原本主要存在于肝细胞浆内的转氨酶、碱性磷酸酶等大量释放到血清中，同时病变的肝脏也无法及时处理血清中的胆红素，造成血清中胆红素升高^[27]；2）过量的锌在肾脏沉积，使得肾脏发生病变，受损的肾脏也无法及时滤过清除血清中的尿酸和肌酐，因而血清中尿酸和肌酐含量升高^[28]；3）过量的锌可能会使胰岛素分子构象发生变化，分子折叠发生异常^[29-30]，因而无法

发挥降低血糖的功能，从而造成蛋鸡血糖升高。

3.3 蛋氨酸锌对主要脏器组织病理变化的影响

病理切片是评价动物健康状况、诊断疾病的辅助性手段，目前将其用作饲料添加剂安全性评价的重要指标。饲料中添加过量的锌会引起家禽中毒，对家禽器官组织造成不同程度的损伤与病变^[16-17]。Gasaway 等^[31]研究发现，3 000 mg/kg 碳酸锌可引起绿头鸭肝脏发生局灶性坏死病变，变为沙黄色。杨自军等^[13]研究报道，4 000 mg/kg 硫酸锌可使蛋鸡肝脏淤血、肾脏坏死变性。赵翠燕等^[32]研究报道，2 400 mg/kg 硫酸锌可引起艾维茵肉鸡心脏、肝脏发生损伤。本试验表明，饲料中添加 70~700 mg/kg 蛋氨酸锌对蛋鸡主要脏器组织无显著影响，而添加 1 400 mg/kg 的蛋氨酸锌会引起蛋鸡心脏、肝脏、肺脏和肾脏发生不同程度的病变和损伤，此结果与蛋鸡生产性能、血清生化指标结果相一致。锌致毒水平的差异主要与受试制剂的类型、剂型、受试动物品种、生理阶段等不同有关。高剂量锌引起动物中毒的机理尚不清楚，有学者认为是锌的直接毒性作用致使膜性结构的脂质双分子层稳定性和糖蛋白含量发生变化、含锌酶构象发生改变、线粒体嵴破坏，从而引起细胞损伤或坏死^[16-17]；也有学者认为是高锌拮抗了其他矿物元素的吸收利用，从而引起间接毒性作用^[33-34]。

4 结 论

饲料中添加 70~700 mg/kg 的蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能、血液学指标以及主要器官组织无负面影响，但当添加水平达到推荐有效剂量的 20 倍（1 400 mg/kg）会影响蛋鸡生产性能、血清生化等部分指标，并致使主要内脏器官组织发生损伤和病变。综上所述，在本试验条件下，蛋鸡对玉米-豆粕型饲料中蛋氨酸的耐受剂量为 700 mg/kg。

参考文献：

- [1] OCHIAI E I.Uniqueness of zinc as a bioelement:Principles and applications in bioinorganic chemistry III[J].Journal of Chemical Education,1988,65(11):943-946.
- [2] MANANGI M K,VAZQUES-AÑON M,RICHARDS J D,et al.The impact of feeding supplemental chelated trace minerals on shell quality,tibia breaking strength,and immune response in laying hens[J].The Journal of Applied Poultry Research,2015,24(3):316-326.
- [3] SONI N,MISHRA S K,SWAIN R,et al.Bioavailability and immunity response in broiler breeders on organically complexed zinc supplementation[J].Food and Nutrition Sciences,2013,4(12):1293-1300.
- [4] YENICE E,MIZRAK C,GÜLTEKIN M,et al.Effects of organic and inorganic forms of manganese,zinc,copper,and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in

- late-phase laying hens[J].Biological trace element research,2015,167(2):300–307.
- [5] SONI N,MISHRA S K,SWAIN R K,et al.Effect of supplementation of organic zinc on the performance of broiler breeders[J].Animal Nutrition and Feed Technology,2014,14(2):359–369.
- [6] KIENHOLZ E W,MORENG R E,FLINCHUM J D.Zinc methionine for stressed laying hens[J].Poultry Science,1992,71(5):829–832.
- [7] 中华人民共和国农业部公告第 1224 号《饲料添加剂安全使用规范》[J].广东饲料,2009,18(7):3–8.
- [8] 许甲平,鲍宏云,冯一凡.蛋氨酸锌对产蛋鸡产蛋性能和非特异性免疫功能的影响[J].饲料工业,2012,33(20):58–61.
- [9] 王希国.蛋氨酸锌对产蛋后期母鸡生产与非特异免疫性能的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2002.
- [10] 高峰,江芸,苏勇.不同锌源对蛋鸡产蛋性能和蛋品质的影响[J].家畜生态学报,2007,28(1):30–31,35.
- [11] 罗阳,姜贝贝,王淑楠.有机微量元素添加对产蛋中后期蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].饲料博览,2016(8):25–29.
- [12] 刘瑞生,朱玉成.微量元素氨基酸螯合物在蛋鸡生产上的研究与应用进展[J].家禽科学,2010(6):43–47.
- [13] 杨自军,程相朝,王哲,等.高锌日粮对鸡的急性毒性效应[J].河南农业科学,1992(5):31–32.
- [14] 王安,单安山.饲料中过量铜、锌对产蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J].饲料与畜牧,1989(1):15–18.
- [15] PALAFOX A L,HO-A E.Effect of zinc toxicity in laying white leghorn pullets and hens[J].Poultry Science,1980,59(9):2024–2028.
- [16] 彭西,崔恒敏.动物锌中毒[J].畜禽业,2001,1(9):28–30.
- [17] 赵翠燕,许钦坤.动物锌中毒研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(4):1042–1043,1064.
- [18] LEHNINGER A L.Role of metal ions in enzyme systems[J].Physiological Reviews,1950,30(3):393–429.
- [19] LEE I S,KIM O K,CHANG Y Y,et al.Heavy metal concentrations and enzyme activities in soil from a contaminated Korean shooting range[J].Journal of Bioscience and Bioengineering,2002,94(5):406–411.

- [20] SCHUTTE J B,VAN WEERDEN E J,BERTRAM L.Sulphur amino acid requirement of laying hens and the effects of excess dietary methionine on laying performance[J].British Poultry Science,1983,24(3):319–326.
- [21] 姜元海.蛋氨酸过量导致产蛋量下降[J].养禽与禽病防治,1993(2):24.
- [22] 刘继高,刘延贺.氨基酸的不平衡、拮抗和毒性[J].郑州牧专学报,1990,10(1):20–24.
- [23] VALLEE B L,FALCHUK K H.The biochemical basis of zinc physiology[J].Physiological Reviews,1993,73(1):79–118.
- [24] PRASAD A S.Biochemistry of zinc[M].New York:Springer Science & Business Media,2013:18–24
- [25] 崔恒敏,赵翠燕,黎德兵,等.高锌对肉鸡血液生化指标的影响[J].中国兽医学报,2004,24(5):504–507.
- [26] WANG B,FENG W Y,WANG T C,et al.Acute toxicity of nano-and micro-scale zinc powder in healthy adult mice[J].Toxicology Letters,2006,161(2):115–123.
- [27] CHALASANI N,FONTANA R J,BONKOVSKY H L,et al.Causes,clinical features,and outcomes from a prospective study of drug-induced liver injury in the United States[J].Gastroenterology,2008,135(6):1924–1934.
- [28] LAPSIA V,JOHNSON R J,DASS B,et al.Elevated uric acid increases the risk for acute kidney injury[J].The American Journal of Medicine,2012,125(3):302.e9–302.e17.
- [29] BLUNDELL T L,DODSON G G,Dodson E,et al.X-ray analysis and the structure of insulin[J].Recent Progress in Hormone Research,1971,27:1–40.
- [30] LI Y V.Zinc and insulin in pancreatic beta-cells[J].Endocrine,2014,45(2):178–189.
- [31] GASAWAY W C,BUSS I O.Zinc toxicity in the mallard duck[J].The Journal of Wildlife Management,1972,36(4):1107–1117.
- [32] 赵翠燕,崔恒敏,黎德兵,等.艾维茵肉鸡锌中毒的动态病理学研究[J].江苏农业科学,2009(3):251–255.
- [33] 卿笃兴,吴诚,文利新,等.高锌毒性研究进展[J].湖南畜牧兽医,2009(3):4–6.
- [34] 丁小波,文利新,牛同利.微量元素锌的毒性研究[J].微量元素与健康研究,2007,24(6):64–66.

Tolerance of Laying Hens to Zinc-Methionine in Diet

CHEN Nana HE Junna GUO Yang LIU Bing XIONG Pingwen YU Dongyou*

(Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed in East China of MOA, College of Animal Science,
Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This experiment was conducted to determine the tolerant dosage of zinc-methionine supplementation in diet through evaluating its effects on performance, hematology indices and histopathological changes of laying hens. Five hundred and forty healthy 20-week-old Hy-Line white laying hens with similar body weight and laying rate were randomly allocated into 6 groups with 6 replicates per group and 15 birds per replicate. Birds were fed basal diets supplemented with 0 (control), 70 (the recommended available dose, RAD), 140 (two folds), 350 (five folds), 700 (ten folds) and 1 400 mg/kg (twenty folds) zinc-methionine, respectively. The trial lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, daily egg mass and laying rate were significantly increased and the ratio of feed to egg was remarkably reduced in 70 mg/kg and 140 mg/kg groups ($P<0.05$); there was no significant difference among the groups of 350 mg/kg, 700 mg/kg or the control in the indices above ($P>0.05$); compared with the groups of 0 to 700 mg/kg, 1 400 mg/kg group significantly reduced daily egg mass and laying rate ($P<0.01$), and increased the ratio of feed to egg ($P<0.01$). 2) Dietary zinc-methionine supplementation had no significant effects on blood routine parameters ($P>0.05$). 3) Compared with the control group, dietary supplementation with 70 to 700 mg/kg zinc-methionine had no remarkably effects on serum biochemical indices ($P>0.05$), however, supplementation with 1 400 mg/kg zinc-methionine significantly increased the contents of glucose, uric acid, creatinine and total bilirubin and improved the activities of glutamic-oxalacetic transaminase and alkaline phosphatase ($P<0.01$). 4) Dietary supplementation with twenty folds of RAD (1 400 mg/kg) zinc-methionine damaged major organ tissues. It is indicated that the tolerant dosage of zinc-methionine in laying hens diet is 700 mg/kg.

Key words: laying hens; zinc-methionine; tolerance

*Corresponding author, professor, E-mail: dyyu@zju.edu.cn

(责任编辑 田艳明)